

Diagnóstico y fertilización del cultivo de trigo en Entre Ríos

Pautasso J.M.^{1,3}, Melchiori R.² y Barbagelata P.^{2,3}.
1 AER INTA Diamante; 2 INTA EEA Paraná; 3 FCA UNER.

Para determinar las necesidades de fertilización de un cultivo se deben evaluar las condiciones de fertilidad del lote a implantar. Un adecuado diagnóstico de fertilidad busca responder a las preguntas: ¿es suficiente el nivel de nutrientes de este suelo para alcanzar un determinado rendimiento del cultivo a implantar? Y si uno o más nutrientes no son suficientes: ¿cuánto, cuándo y cómo se deben aplicar?

En la práctica, existen distintas herramientas de diagnóstico que buscan responder la primera pregunta; en nuestro caso la herramienta que usaremos es el análisis de suelos. A la segunda pregunta la responderemos a partir de principios científicos y de experimentos de campo que los confirman.

El cultivo de trigo es el principal cultivo de invierno en Argentina. En relación al total del país, en Entre Ríos se implanta cerca del 10 % del trigo (Magyp, 2021).

Las deficiencias nutricionales limitan el rendimiento alcanzable cada año, siendo la magnitud de la deficiencia la que definirá el efecto de dicho nutriente sobre el rendimiento. La herramienta más difundida y utilizada para conocer la disponibilidad de algunos nutrientes es el análisis de suelos.

Esta herramienta tiene ventajas y limitaciones, algunas de ellas, serán tratadas a continuación, al analizar los principales nutrientes que se informan como limitantes para la producción de trigo en la provincia.

Nutrientes limitantes en trigo: ¿Cómo se evalúa la disponibilidad?, ¿cómo se decide la fertilización?

Nitrógeno: es el nutriente que generalmente más limita la producción. El enfoque más utilizado para realizar las recomendaciones de fertilización con nitrógeno (N) se basa en relacionar el rendimiento de grano y la disponibilidad inicial de N (kg N ha^{-1}) del suelo, determinando la concentración de N de nitrato (N-NO_3^-), y el N añadido como fertilizante. La suma de ambas fuentes (suelo + fertilizantes) se denomina nitrógeno disponible (ND) y debe alcanzar un determinado valor para que el N no limite la producción de trigo; dicho valor se denomina umbral de ND.

En Entre Ríos la determinación de la concentración de nitratos en los primeros 20 cm del suelo ha demostrado ser un buen indicador de la disponibilidad de N para las plantas, sin necesidad de mediciones a mayores profundidades.

Una simplificación de este método es lo propuesto por la EEA Paraná del INTA, donde se ajustó un umbral de ND único para la región que recomienda alcanzar 100 kg ha^{-1} de ND (0-20 cm); con este umbral estaremos abasteciendo la cantidad suficiente de nitrógeno para un rendimiento de 3500-4000 kg de trigo ha^{-1} . Un desafío para mejorar el manejo del N deriva del principio agronómico: "el rendimiento alcanzable impulsa el umbral de ND, siendo su principal determinante".

A continuación, proponemos un método de ajuste de la nutrición nitrogenada según el rendimiento alcanzable; dicho rendimiento surgirá de la interacción entre genotipo (asociado al mejoramiento genético que puede ser apropiado por el productor a partir de las variedades liberadas al mercado), el ambiente y el manejo agronómico (fertilización, manejo de malezas, entre otras). El factor del ambiente que mayor impacto tiene en el rendimiento del trigo en nuestra región es la disponibilidad de agua en el perfil del suelo al momento de la siembra, cuya recarga depende fundamentalmente de las lluvias otoñales, ya que durante el invierno las lluvias generalmente son escasas.

En la Figura 1 se muestran las relaciones entre el rendimiento del trigo en función de la cantidad de precipitaciones ocurridas durante el otoño en los últimos años; quedando definidos dos modelos de rendimientos:

- Uno más bajo que corresponde a un **manejo promedio** (rendimientos alcanzados por el promedio de los productores de los departamentos Paraná, Diamante, Victoria y Nogoyá según lo informado cada año por la Bolsa de Cereales de Entre Ríos (BCER, 2021)). De

los últimos veintiún ciclos agrícolas se descartaron cuatro con epifitias de “fusariosis” de la espiga; uno con epifitias de roya del tallo y uno con sequía excepcional previa al cultivo).

- Uno más alto, **manejo mejorado**, que corresponde a los rendimientos obtenidos de los ensayos de fertilización realizados por la AER Diamante del INTA en los últimos años en campos de productores donde se siembran genotipos más actuales, un buen manejo de malezas y enfermedades, y cultivos creciendo sin limitación de N y P. La cantidad de campañas involucradas en este modelo son 12, involucrando 29 ensayos.

La Figura 2 muestra la relación entre el ND y el rendimiento alcanzable de trigo (los puntos corresponden al ND determinado por ciclo agrícola).

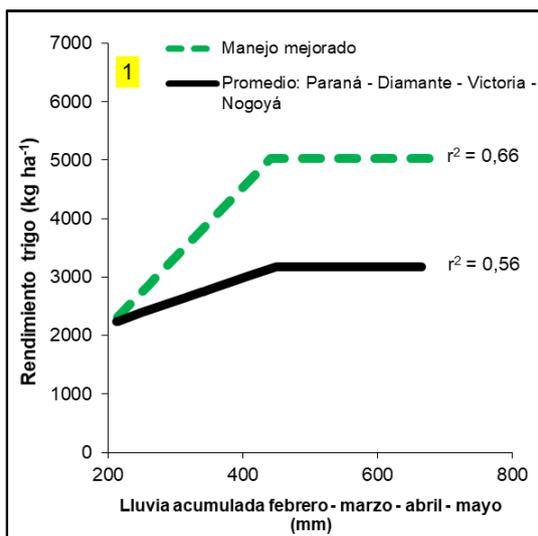


Figura 1. Rendimiento de trigo en función de las lluvias acumuladas.

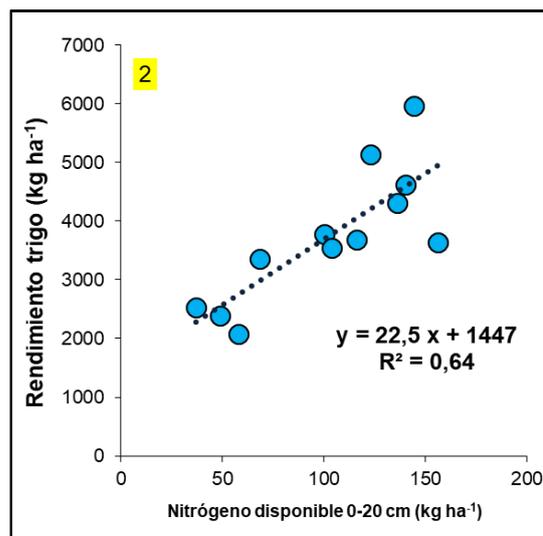


Figura 2. Rendimiento de trigo en función del ND en el suelo.

Se debe definir el rendimiento alcanzable (puede elegirse dentro del rango entre el “**manejo promedio**” y el de “**manejo mejorado**”) a partir de la información de las lluvias acumuladas entre febrero y mayo, utilizando la Figura 1.

- Modelo “**manejo promedio**”:
 - *Rendimiento de trigo:* $1404 + 4 * \text{mm acumulados (FMAM)}$. Hasta 449 mm acumulados, a partir de dicho valor el rendimiento es de 3173 kg trigo ha⁻¹ (Ec.1)
- Modelo “**manejo mejorado**”:
 - *Rendimiento de trigo:* $-230 + 12 * \text{mm acumulados (FMAM)}$. Hasta 442 mm acumulados, a partir de dicho valor el rendimiento es de 5024 kg trigo ha⁻¹ (Ec.2)

Una vez estimado el rendimiento del trigo, utilizando la Figura 2 se calcula la necesidad de nitrógeno, para lo cual se debe contar con el valor de N-nitrato del lote. Para llevar el valor del resultado del análisis de suelo, expresado en ppm de nitratos (0-20 cm) a kg de N de nitratos por hectárea, se divide el valor de nitratos por 1,8. Por último, la diferencia entre la necesidad de nitrógeno para ese rendimiento de trigo y el aporte de N del suelo como nitratos, da como resultado la dosis de N a aplicar mediante fertilización.

A continuación, veremos un ejemplo. Tomaremos 350 mm como las lluvias acumuladas en los meses de FMAM. El valor de nitratos en el suelo (0-20 cm) para este ejemplo será de 45 ppm.

Rendimiento alcanzable de trigo:

- Modelo "**manejo promedio**": Rendimiento de trigo: $1404 + 4 * 350 \text{ mm} = 2804 \text{ kg trigo ha}^{-1}$.
- Modelo "**manejo mejorado**": Rendimiento de trigo: $-230 + 12 * 350 \text{ mm} = 3970 \text{ kg trigo ha}^{-1}$.

Demanda de ND:

- Modelo "**manejo promedio**": $2804 \text{ kg trigo ha}^{-1} = 22,5 * \text{ND} + 1447$

 $\text{ND} = (2804 - 1447) / 22,5 = 60 \text{ kg ND ha}^{-1}$.

- Modelo "**manejo promedio**": $3932 \text{ kg trigo ha}^{-1} = 22,5 * \text{ND} + 1447$

 $\text{ND} = (3932 - 1447) / 22,5 = 112 \text{ kg ND ha}^{-1}$.

Nitrógeno Disponible (0-20 cm):

- **ND (suelo)**: $45 \text{ ppm Nitratos} / 1,8 = 25 \text{ kg N ha}^{-1}$.
- **ND (fertilizante)**:
 - Para $2783 \text{ kg de trigo ha}^{-1}$: $(60 - 25) \text{ kg N a agregar ha}^{-1} = 35 \text{ kg N ha}^{-1}$.
 - Para $3932 \text{ kg de trigo ha}^{-1}$: $(112 - 25) \text{ kg N a agregar ha}^{-1} = 87 \text{ kg N ha}^{-1}$.

Para el rango de rendimientos definido la fertilización nitrogenada estará entre 35 y 87 kg ha^{-1} (76 y $189 \text{ kg UREA ha}^{-1}$). La dosis a agregar también dependerá del conocimiento del lote que se cultiva, es decir si el mismo tiene o no otras limitaciones diferentes al agua y al N.

Como recomendaciones generales sobre otros aspectos de la fertilización nitrogenada, además de la dosis, podemos enunciar que, en promedio, no hay diferencias significativas entre fuentes de N. Con respecto al momento de fertilización, lo ideal en años promedio en cuanto a precipitaciones y temperatura, debería ser aplicarlo a la siembra o lo más cercano a ella, ya que en general durante el invierno las lluvias son más escasas (Pautasso, 2020).

Fósforo (P): es el segundo nutriente que limita la producción y, además, si está en niveles deficientes, condiciona la respuesta a la fertilización nitrogenada. El indicador de suelos que mejor se relaciona con la disponibilidad de P es el P Bray. Para la región pampeana se ha definido un umbral de P Bray entre 12 y 18 ppm (Correndo y García, 2016).

En las Figuras 3 y 4 se resume la información de 30 ensayos realizados en lotes ubicados en los departamentos Paraná, Diamante y Victoria durante 7 ciclos agrícolas.

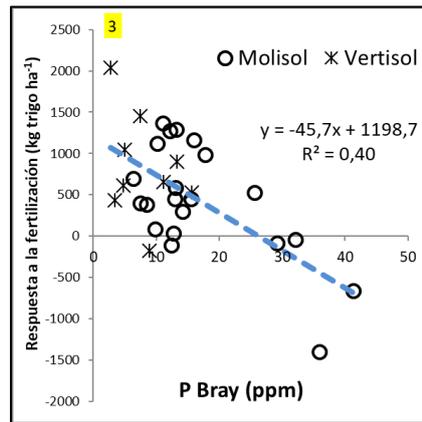


Figura 3. Respuesta al agregado de 20 kg P ha⁻¹ en función del P Bray de los suelos (0-20 cm).

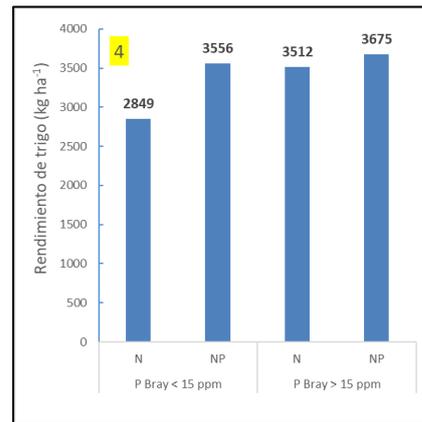


Figura 4. Rendimiento de trigo en función del P Bray y del agregado de nutrientes, donde “N” corresponde a los tratamientos con 92 kg N ha⁻¹. “NP” a los tratamientos con “N” más 20 kg P ha⁻¹.

Algunas conclusiones generales son: 1) es esperable mayor respuesta a la fertilización cuando el P Bray es bajo; 2) en la región, los suelos Vertisoles (pesados) y Molisoles (más sueltos) presentan una respuesta similar a la fertilización con P; al contrastar los tratamientos con “N” vs aquellos que además recibieron P (“NP”) en los ambientes con menos de 15 ppm de P Bray la respuesta promedio al agregado de P fue de alrededor de 700 kg de trigo ha⁻¹ (p<0,01), por encima de dicho valor la respuesta no fue significativa (Figura 4).

Para este nutriente, en general, no se encontraron diferencias entre fuentes, así como tampoco se encontraron diferencias en función del momento de aplicación (a la siembra vs. antes de la siembra) o la forma de aplicación (al voleo vs. bandas a la siembra) (Barbagelata, 2012).

Azufre (S): el principal obstáculo para el manejo de este nutriente, es no contar con un indicador de suelos “confiable” para estimar su disponibilidad. Una alternativa consiste en aplicar una dosis de mantenimiento (10 a 15 kg de S ha⁻¹).

En la Figura 5 se resumen los rendimientos logrados en 21 ensayos llevados a cabo durante 6 ciclos agrícolas, donde se midió un incremento de 115 kg de trigo ha⁻¹ al aplicar 10-15 kg de S ha⁻¹.

“NP” corresponde a los tratamientos que recibieron 92 kg N ha⁻¹ y 20 kg P ha⁻¹; “NPS” corresponde a los tratamientos que además recibieron 10-15 kg S ha⁻¹. Con los datos se realizó un contraste entre los tratamientos NP vs NPS, donde se encontró que el incremento no es significativo (p=0,09).

A modo ilustrativo, el contenido de S del suelo, medido como sulfatos a 0-20 cm fue en promedio de 9,65 ppm.

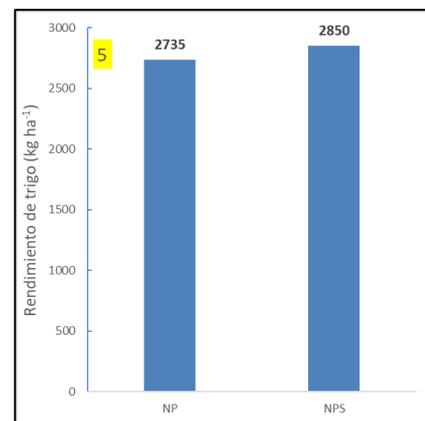


Figura 5: Rendimiento de trigo en función al agregado de S.

Potasio (K): en general, los suelos de la región están medianamente bien provistos. El K intercambiable es el indicador de disponibilidad del nutriente más comúnmente utilizado (desde ahora, K disponible). Últimamente se exploran áreas de deficiencia, aunque solo existen antecedentes en Uruguay donde han determinado un umbral de K disponible para varios cultivos de 0,34 cmol ha⁻¹, equivalentes a 133 ppm (Barbazán *et al.*, 2015).

Durante el ciclo agrícola 2020, se realizó una red de 11 ensayos de fertilización distribuidos en los departamentos Nogoyá, Paraná y Diamante; donde se evaluó este nutriente. Si bien son datos preliminares y es conveniente continuar con estos ensayos, se midió una respuesta promedio de 160 kg de trigo por hectárea cuando se fertilizó con 100 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio (ClK). El valor de K disponible promedio en los primeros 20 cm del suelo fue de 285 ppm.

En la Figura 6 se informa el rendimiento obtenido en cada ensayo con su respectivo valor de K disponible, donde "NPS" corresponde a los tratamientos con el agregado de 92 kg N ha⁻¹, 20 kg P ha⁻¹ y 10 kg S ha⁻¹ y "NPSK" a los tratamientos que además recibieron 50 kg K ha⁻¹.

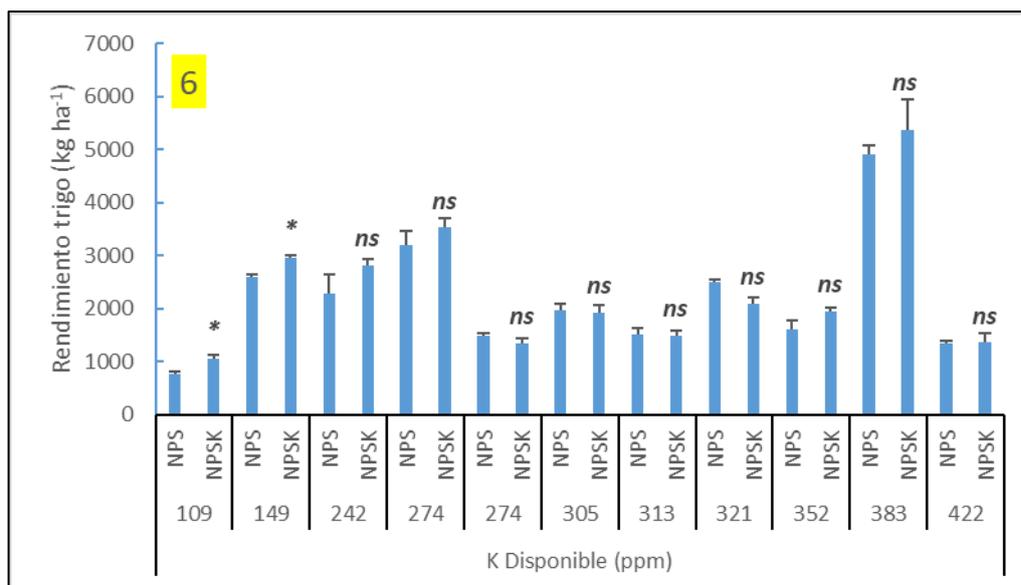


Figura 6: Rendimiento de trigo en función de los tratamientos en cada sitio. Barras con * informan diferencias significativas ($p < 0,05$) para el tratamiento fertilizado con K.

De los 11 ensayos sólo en dos se verificó una respuesta significativa al agregado de K, coincidiendo con los sitios donde el K disponible fue más bajo.

Zinc (Zn): este elemento se considera un micro nutriente, es decir que las plantas lo necesitan en pequeñas cantidades. También para el Zn se usan índices de disponibilidad, a partir del análisis de muestras de suelo. Recientemente, se definieron rangos Zn-DTPA (Zn extraído con ácido dietileno triamino penta acético) con diferente probabilidad de respuesta a la fertilización para el cultivo de maíz, pero no hay información regional de respuestas a este nutriente para el cultivo de trigo.

En la red de ensayos de fertilización en trigo realizada en el 2020, detallada anteriormente para el K, uno de los tratamientos evaluados también fue la respuesta a la fertilización con Zn, mediante el agregado de 1 kg de Zn elemento por hectárea al momento de la siembra. Para dicha campaña no se pudo relacionar el valor de Zn disponible en el suelo con la respuesta al agregado de este elemento vía fertilización (el valor promedio de Zn disponible fue de 0,55 ppm). Tampoco se encontró respuesta al agregado de este nutriente: 2376 kg trigo ha⁻¹ (tratamientos con Zn) vs 2378 kg trigo ha⁻¹ (tratamientos sin Zn).

Una experiencia sobre el uso de análisis de suelos y fertilización.

Durante los tres últimos ciclos agrícolas (2018; 2019 y 2020), junto a un grupo de productores y la Cámara Arbitral de Cereales de Entre Ríos, la AER INTA Diamante aplicó las recomendaciones de diagnóstico y fertilización a escala de lote, mediante ensayos en franjas demostrativas. La experiencia consistió en:

- antes de la siembra se extrajeron muestras de suelos de cada lote;

- el productor realizó la fertilización recomendada en al menos 2 ha del lote, y las cosechó aparte (*Modelo INTA*). También se registró el rendimiento de la franja a la par, la cual tiene el manejo de fertilización habitual del productor (*Productor*);
- Los nutrientes a ajustar fueron N y P y la recomendación de fertilización fue:
 - El N se ajustó según rendimiento máximo alcanzable, estimado según lluvias otoñales para cada ciclo agrícola y sitio.
 - El P se manejó según el siguiente criterio: si el P Bray del suelo estaba por debajo de 15 ppm se realizó fertilización de reposición + enriquecimiento; si estaba entre 15 ppm y 25 ppm, se aplicó fertilizante para reponer lo extraído según estimación de rendimiento; y si estaba por encima de 25 ppm, no se agregó P.

Mediante esta metodología se evaluaron un total de 44 lotes, distribuidos en los departamentos Paraná, Diamante, Nogoyá y Victoria. El P Bray fue de 16,8 ppm y los nitratos tuvieron un valor de 38,4 ppm, en promedio, para todos los sitios considerados.

En la Figura 7 se muestra el rendimiento promedio en los departamentos de la provincia evaluados, comparado con los rendimientos obtenidos en los tratamientos “modelo INTA” y “Productor”. En la figura 8 se muestra la dosis promedio de P y N utilizadas en cada tratamiento, comparados con la dosis promedio de N y P utilizados en la provincia. Los datos promedios de uso de fertilizantes en la provincia y los rendimientos promedios de los departamentos se obtuvieron de los informes de la Bolsa de Cereales de ER (Cita, año).

La comparación de rendimientos entre las tres categorías de la Figura 7 se realizó a partir de un ANOVA donde las fuentes de variación fueron las tres categorías y el año.

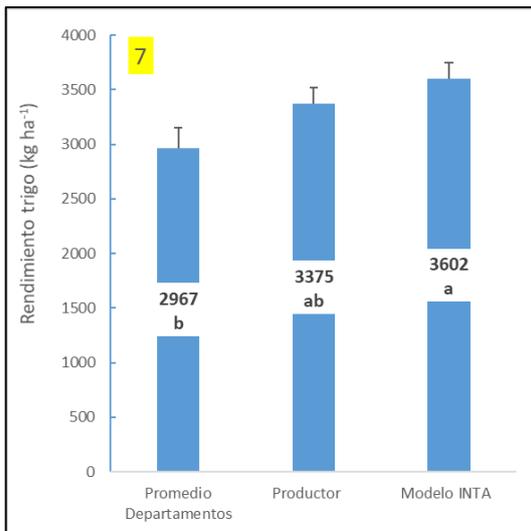


Figura 7: Rendimiento de trigo en función de la categoría productiva. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

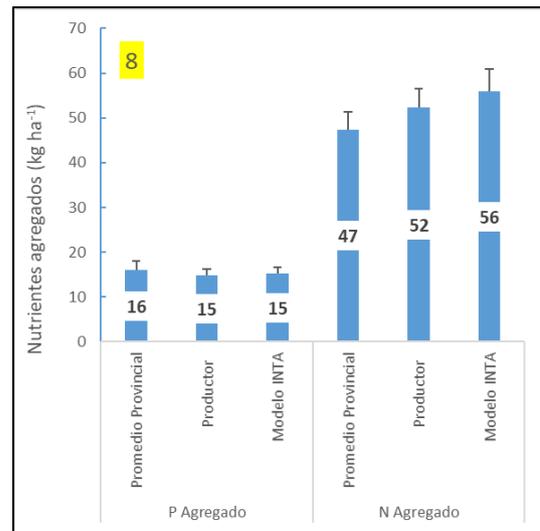


Figura 8: Nutrientes agregados en promedio por hectárea en función de la categoría productiva.

A modo de síntesis de esta experiencia podemos destacar que:

- Si bien los datos promedios de rendimiento departamentales involucran mucha variabilidad de suelo y manejo, nos sirven como referencia. En dicho contexto, los productores que colaboraron estos años lograron producciones por encima del promedio departamental (14% más).
- La utilización de un modelo de fertilización sustentado en un diagnóstico de fertilidad (análisis de suelos) incrementó el rendimiento otro 8% más que el obtenido por los productores que colaboraron con la experiencia.
- Realizar un diagnóstico de fertilidad y ajustar las dosis de fertilizantes de acuerdo al mismo no significa incrementar significativamente el uso de estos fertilizantes, sino reasignarlos según diagnóstico.

Consideraciones finales:

1. El análisis de suelos es una herramienta de diagnóstico sencilla y de fácil interpretación, muy adecuada para ajustar la nutrición nitrogenada, fosfatada y potásica en el cultivo de trigo.
2. Los nutrientes que limitan en mayor medida la producción de trigo en Entre Ríos y, por lo tanto, a los que se les debe prestar especial atención, son el N y el P.
3. El K, S y Zn son nutrientes con potencial de generar respuestas de interés agronómico en algunas situaciones, pero aun debemos continuar trabajando para mejorar la capacidad predictiva de los análisis de suelo.

Para seguir leyendo:

- BARBAGELATA P. 2012 Manejo del fósforo en suelos de Regiones Templadas. En actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012.
- BARBAZÁN M., CONTI M. y F. GARCÍA. 2015 Potasio. En Echeverría H. y F García (Eds). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Capítulo 9. Ediciones INTA. Bs. As. Argentina.(páginas?)
- CORRENDO A. y F. GARCÍA 2016. Trigo 2016: Algunas Pautas para el Manejo Nutricional del Cultivo. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/313857886_Trigo_2016_Algunas_Pautas_para_el_Manejo_Nutricional_del_Cultivo [Verificación: abril 2021].
- MAGYP. 2021. Estimaciones Agrícolas. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/> [Verificación: abril 2021].
- PAUTASSO JM. 2020 ¿qué impacto tienen las variables de manejo en el rendimiento del cultivo de trigo en Entre Ríos? Serie Extensión INTA Paraná Nº 86, pág. 1-6. Disponible en <https://intainforma.inta.gob.ar/pautas-para-maximizar-la-produccion-de-trigo/> [Verificación: abril 2021].